

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з вивчення дисципліни “Електромагнітні перехідні процеси”

для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

освітньо-професійної програми

«Електротехнічні системи електроспоживання»

заочної форми навчання

2019

Методичні вказівки з вивчення дисципліни “Електромагнітні перехідні процеси” для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання» заочної форми навчання / Укл.: О. А. Шрам. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 14 с.

Укладач: О. А. Шрам, доцент, канд. техн. наук,

Рецензент: В. В. Попов, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний
за випуск: О. А. Шрам, доцент, канд. техн. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
електропостачання промислових
підприємств
протокол № 6 від 24.01.2019 р.

Затверджено
на засіданні НМК
електротехнічного факультету
протокол № 7 від 21.02.2019 р.

З М І С Т

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	4
2 РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ	5
2.1 Загальна характеристика електромагнітних перехідних процесів	5
2.2 Електромагнітні перехідні процеси в синхронних машинах при трифазному КЗ	5
2.3 Практичні методи розрахунків струмів КЗ	7
2.4 Перехідні процеси при порушенні симетрії трифазного кола	7
2.5 Перехідні процеси при особливих умовах	8
3 ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	9
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ	10
4.1 Загальні вказівки	10
4.2 Завдання на 1 та 2 контрольні роботи	10
4.3 Методичні вказівки до виконання контрольних робіт	13
5 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	14
5.1 Основна література	14
5.2 Додаткова література	14

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

В електроенергетичних системах виникають короткі замикання (КЗ) та інші порушення нормального режиму роботи, які викликають появу електромагнітних перехідних процесів. На підставі розрахунків і досліджень електромагнітних перехідних процесів вирішуються практично всі важливі питання проектування та експлуатації систем електропостачання.

Основна мета дисципліни – дати студентам уяву про характер перехідних процесів, методи їх розрахунку та аналізу їх впливу на роботу електричної системи і окремих її елементів.

Після засвоєння дисципліни студенти повинні знати: основи теорії електромагнітних перехідних процесів, методи їх розрахунків.

Під час установчої сесії студенти прослуховують лекції, виконують та захищають лабораторні роботи, отримують варіанти завдань для виконання контрольних робіт.

При самостійному вивченні дисципліни студентам заочної форми навчання рекомендується:

- ознайомитись із програмою та методичними вказівками;
- вивчити курс за підручниками та посібниками в об'ємі програми;
- скласти короткий конспект з основними положеннями тем, математичними формулами, схемами, тощо;
- виконати та заздалегідь вислати або привезти в університет контрольні роботи.

Теми лекцій, які виносяться на установчу сесію

1. Основні види та особливості електромагнітних перехідних процесів.
2. Методи іменованих та відносних одиниць, точне та наближене зведення параметрів мережі.
3. Електромагнітні перехідні процеси в синхронних машинах при трифазному КЗ.
4. Практичні методи розрахунків струмів КЗ.
5. Перехідні процеси при порушенні симетрії трифазного кола.
6. Розрахунки струмів КЗ в електроустановках напругою до 1 кВ.

2 РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Загальна характеристика електромагнітних перехідних процесів

Причини виникнення електромагнітних перехідних процесів. Основні види та основні припущення, що приймаються при розрахунках КЗ. Наслідки КЗ. Поняття про розрахункові умови, розрахункові схеми і схеми заміщення. Метод іменованих та відносних одиниць. Точне та наближене зведення. Схеми заміщення елементів системи електропостачання. Поняття про енергосистему. Методи перетворення схем заміщення. Еквівалентна ЕРС.

Самостійна робота – 30 годин.

Література: [1] с. 10 – 41.

[2] с. 4 – 6; с. 27 – 31.

Контрольні запитання

1. Що називають КЗ, простим замиканням? Що називають процесом, режимом?
2. Чому виникають перехідні процеси?
3. Назвіть основні види КЗ та ймовірність їх виникнення.
4. До яких наслідків призводять КЗ?
5. Які основні припущення приймаються у практичних розрахунках?
6. Яка різниця між точним та наближеним зведенням?
7. Як вибираються базові умови при розрахунках у відносних та іменованих одиницях?
8. Як враховується система при розрахунках струмів КЗ?
9. Які методи перетворення схем використовуються при розрахунках струмів КЗ?

2.2 Електромагнітні перехідні процеси в синхронних машинах при трифазному КЗ

Діаграма магнітних потоків в синхронній машині без демпферної обмотки в нормальному режимі і при КЗ. Схеми

заміщення синхронної машини без демпферної обмотки і векторна діаграма. Визначення перехідної ЕРС та реактивності синхронного генератора (СГ). Схема заміщення синхронної машини з демпферними обмотками, векторна діаграма.

Визначення надперехідних ЕРС та реактивності синхронного генератора. Зміна у часі напруги генератора, синхронної, перехідної та надперехідної ЕРС при трифазному КЗ і при його ліквідації. КЗ на затискачах синхронного генератора без автоматичного регулювання збудження (АРЗ). Зміна у часі струму КЗ і його періодичної та аперіодичної складових. Визначення постійної часу згасання аперіодичної складової струму КЗ, ударного і надперехідного струму КЗ. КЗ на затискачах синхронного генератора з АРЗ. КЗ на шинах енергосистеми.

Самостійна робота – 30 годин.

Література: [1] с. 42 – 54; с. 57 – 66.

[2] с. 7 – 13.

Контрольні запитання

1. Як протікає перехідний процес при КЗ на затискачах синхронного генератора без демпферних обмоток?
2. Які значення ЕРС та реактивності синхронного генератора називають перехідними, надперехідними?
3. Який вигляд мають векторні діаграми синхронного генератора з демпферними обмотками і без них?
4. Як записуються диференційні рівняння рівноваги ЕРС та спадів напруги в обмотках синхронної машини?
5. Як змінюється струм КЗ у часі при трифазному КЗ на Затискачах СГ без АРЗ?
6. Як визначити надперехідний та усталений струм КЗ?
7. При яких умовах миттєве значення повного струму КЗ буде максимальним?
8. Як визначаються початкове значення аперіодичної складової струму КЗ та постійна часу її згасання?
9. Як впливає на перехідний процес АРЗ СГ?
10. Як змінюється у часі струм КЗ, якщо КЗ сталося на шинах енергосистеми нескінченної потужності?

2.3 Практичні методи розрахунків струмів КЗ

Розрахунок надперехідного струму трифазного КЗ. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму симетричного КЗ в довільний момент часу. Метод типових кривих. Розрахунки струмів підживлення КЗ від двигунів. Розрахунки струмів КЗ в багатоконтурних схемах з застосуванням ЕОМ.

Самостійна робота – 30 годин.

Література: [1] с. 66 – 123; [2] с. 13 – 22.

Контрольні запитання

1. Від чого залежить точність результатів режиму КЗ?
2. Як розрахувати надперехідний струм симетричного КЗ?
3. Як проводиться розрахунок по загальній та індивідуальній зміні струму?
4. Як визначити електричну відданість точки КЗ від генераторів гілки?
5. Як розраховується еквівалентна ЕРС?
6. Що можна визначити за допомогою типових кривих?
7. Як можна визначити ударний коефіцієнт?
8. Коли потрібно враховувати струм підживлення точки КЗ від двигунів?
9. Які методи математичного моделювання використовують при розрахунках струмів КЗ в багатоконтурних схемах?

2.4 Перехідні процеси при порушенні симетрії трифазного кола

Особливості дослідження несиметричних перехідних процесів. Метод симетричних складових. Рівняння симетричних складових. Граничні умови та співвідношення між симетричними складовими струмів та напруг для основних видів несиметричних КЗ. Векторні діаграми струмів та напруг. Схеми заміщення прямої, зворотної та кульової послідовностей та визначення їх параметрів. Правило еквівалентності прямої послідовності.

Визначення надперехідного та ударного струмів несиметричного КЗ. Порівняння струмів різних видів КЗ. Розрахунок перехідних процесів при однократній поздовжній несиметрії.

Самостійна робота – 30 годин.

Література: [1] с. 124 – 141; с. 142 – 164; с. 182 – 191.

[2] с. 22 – 25.

Контрольні запитання

1. Як використовують метод симетричних складових?
2. Як визначити опори окремих елементів системи для струмів різних послідовностей?
3. Як скласти схему заміщення різних послідовностей?
4. Які граничні умови для основних видів несиметричних КЗ?
5. Як визначити струм КЗ прямої послідовності несиметричного КЗ?
6. Як визначити надперехідний струм КЗ у пошкодженій фазі та ударний струм КЗ?
7. Які співвідношення дотримуються між струмами різних видів КЗ?
8. Як можна зменшити величину струму при однофазному КЗ?

2.5 Перехідні процеси при особливих умовах

Замикання на землю в електроустановках з ізольованою нейтраллю. Векторні діаграми струмів та напруг. Компенсація ємнісних струмів замикання на землю. Розрахунки струмів КЗ з врахуванням регулювання напруги трансформаторами з РПН. Розрахунки струмів КЗ в електроустановках напругою до 1 кВ. Перенапруги в мережах 6 – 35 кВ.

Самостійна робота – 24 години.

Література: [1] с. 221 – 226; с. 229 – 232.

[3] с. 123 – 144.

Контрольні запитання

1. Як визначити струм простого замикання на землю?
2. В яких випадках та з якою метою виконується компенсація ємнісних струмів замикання на землю?
3. З якою метою при розрахунках струмів КЗ враховується вплив пристроїв для регулювання напруги на трансформаторах?
4. В чому особливості розрахунку струмів КЗ в електроустановках напругою до 1 кВ?
5. Як розрахувати надперехідний та ударний струми симетричного КЗ від енергосистеми при КЗ в мережах 0,4 кВ?
6. Як розрахувати надперехідний та ударний струми КЗ від двигунів при симетричному КЗ в мережах напругою 0,4 кВ?

7. Які основні причини і наслідки виникнення перенапруг в мережах 6 – 35 кВ?

3 ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Студенти заочники виконують лабораторні роботи за методичними вказівками [5].

1. Розрахунок надперехідних струмів трифазного КЗ методом вузлових потенціалів та аналіз аварійних режимів за допомогою ЕОМ.

2. Розрахунок електромагнітного перехідного процесу при несиметричних КЗ за допомогою ЕОМ.

3. Розрахунок надперехідних та ударних струмів трифазного КЗ в вузлі навантаження з електродвигунами за допомогою ЕОМ.

Тема практичного заняття.

1. Розрахунок струмів трифазного КЗ.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

4.1 Загальні вказівки

Під час вивчення дисципліни “Електромагнітні перехідні процеси” студенти заочної форми навчання повинні виконати дві контрольні роботи і одну курсову роботу.

Для виконання контрольних робіт необхідно засвоїти теми 2.1 – 2.3 і 2.5.

4.2 Завдання на 1 та 2 контрольні роботи

Для заданої схеми електричної мережі, що приведена на рис. 4.1, та вихідних даних за таблицями 4.1 і 4.2 необхідно:

1. Розрахувати початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ і ударний струм для точки КЗ, що задана викладачем.

2. Розрахувати надперехідний струм і ударний струм трифазного КЗ, що генерують електродвигуни, для заданої точки КЗ.

Варіанти завдань за таблицею 4.1 визначаються викладачем.

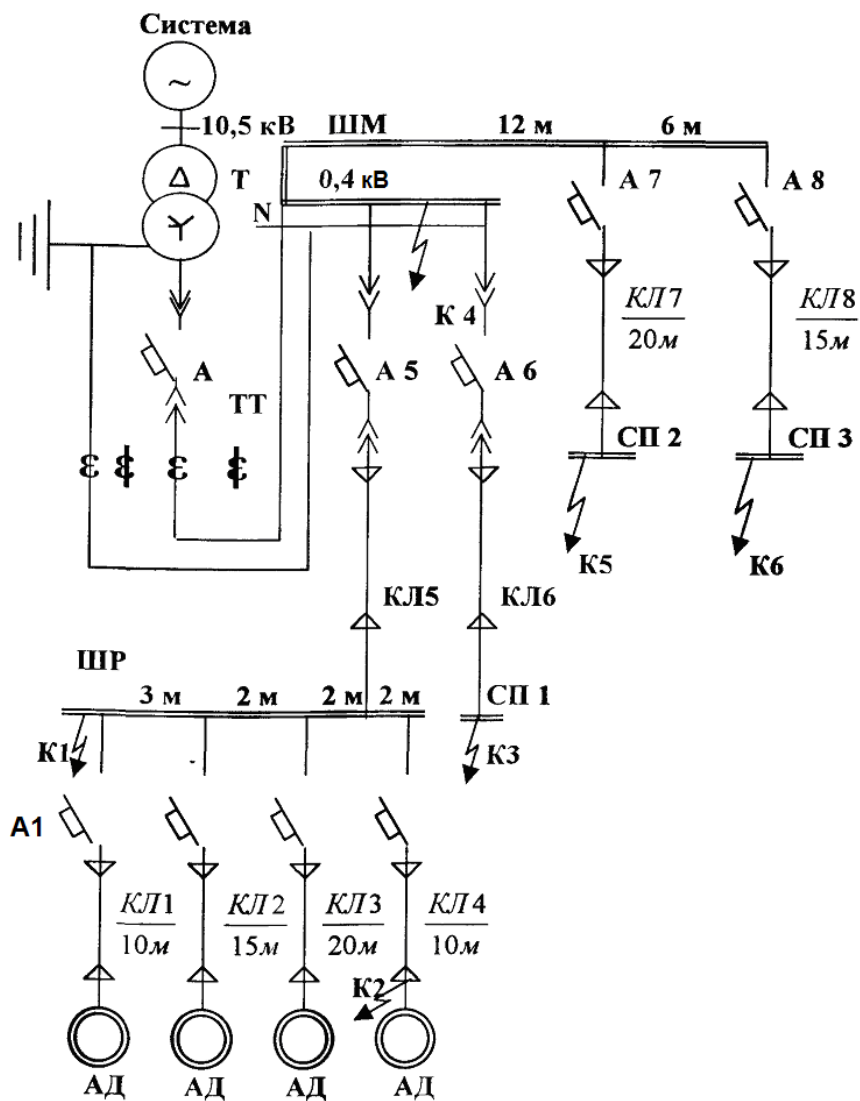


Рисунок 4.1

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

№ варі- анту	Трансформатор			Трансформатор струму		Кабель КЛ15, КЛ6		
	$S_{ном},$ КВА	U_K %,	$\Delta P_K,$ кВт	$r,$ мОм	$x,$ мОм	$r_0,$ мОм/м	$x_0,$ мОм/м	$l,$ м
1	100	4,5	2,7	2,7	1,7	0,894	0,064	60
2	160	4,5	2,7	0,75	1,2	0,625	0,063	50
3	250	5,5	3,8	0,42	0,67	0,447	0,061	40
4	400	5,5	5,4	0,2	0,3	0,329	0,06	30
5	630	5,5	7,3	0,11	0,17	0,261	0,060	20
6	1000	5,5	11,2	0,05	0,07	0,208	0,059	80
7	1600	5,5	16	-	-	0,169	0,059	90
8	2500	6,5	23,5	-	-	0,13	0,058	100
9	100	5,5	2,7	0,75	0,7	0,894	0,064	70
10	160	5,5	2,7	0,33	0,3	0,625	0,063	10
11	250	5,5	3,8	0,19	0,17	0,447	0,061	25
12	400	5,5	5,4	0,09	0,08	0,329	0,06	35
13	630	5,5	7,3	0,05	0,04	0,261	0,06	45
14	1000	5,5	11	0,02	0,02	0,208	0,059	55
15	1600	5,5	16,5	-	-	0,169	0,059	95
16	2500	6,5	23,5	-	-	0,13	0,058	65
17	100	5,5	2,7	0,75	0,7	0,53	0,088	75
18	160	5,5	2,7	0,75	1,2	0,37	0,085	85
19	250	5,5	3,8	0,42	0,67	0,265	0,082	15
20	400	5,5	5,4	0,09	0,08	0,195	0,081	10
21	630	8	8,5	0,05	0,04	0,154	0,08	40
22	1000	5,5	11,6	0,02	0,02	0,124	0,079	50
23	1600	5,5	16,5	-	-	0,1	0,078	20
24	2500	6,5	23,5	-	-	0,077	0,077	30
25	100	5,5	2,7	2,7	1,7	1,4	0,2	80
26	160	5,5	2,7	0,75	1,2	0,8	0,2	90
27	250	5,5	3,8	0,42	0,67	1,9	0,23	10

Таблиця 4.2 - Вихідні дані

Для всіх варіантів	Середні значення опорів розчеплювачів автоматичних вимикачів	$r, мОм$	A1 – A4	A5, A6	A7, A8
			1,3	0,74	0,12
		$x, мОм$	0,85	0,55	0,084
		Середні значення опорів кабелів	$r_0 \frac{мОм}{м}$	КЛ1 – КЛ4	КЛ 7 – КЛ 8
			2,4	0,32	
		$x_0 \frac{мОм}{м}$	0,084	0,064	
		Середні значення опорів шинопроводів	$r_0 \frac{мОм}{м}$	ШР	ШМ
			0,1	0,014	
		$x_0 \frac{мОм}{м}$	0,13	0,006	
		Характеристика системи	$S_{номC} = \infty, \quad x''_* = 0$		
	Асинхронні двигуни, АД	$P_{ном} = 55 \text{ кВт};$ $U_{ном} = 380 \text{ В}; \quad S_{ном} = 1,3\%$ $\cos \varphi = 0,9; \quad M_{пуск*} = 1,2$ $\text{к.п.д.} = 0,92;$ $I_* \text{ пуск} = 6,5$			

4.3 Методичні вказівки до виконання контрольних робіт

Розрахунки виконуються в іменованих одиницях. Порядок виконання роботи такий:

1. На основі розрахункової схеми (див. мал. 4.1) для заданої точки КЗ складається схема заміщення, котра включає всі елементи, по яким протікає струм КЗ.

2. Розраховують індуктивні та активні опори всіх елементів в іменованих одиницях і наносять їх на схему заміщення. При цьому у чисельнику вказується порядковий номер опору, а у знаменнику – його величина.

3. В схему заміщення вводиться додатковий активний опір перехідних контактних з'єднань.

4. Система живлення вводиться в схему заміщення як джерело з постійним ЕРС і з нульовим внутрішнім опором.

5. Асинхронний двигун вводиться в схему заміщення надперехідною ЕРС в іменованих одиницях $\left(E'' = 0,9 \frac{U_{\text{ном}} D}{\sqrt{3}} \right)$ за своїм активним та реактивним опором.

6 Схему заміщення спрощують, згортаючи її відносно точки КЗ так, щоб між джерелами живлення (система і двигуни) та точкою КЗ було б по одному повному опору.

7 Визначають надперехідний і ударний струми КЗ від системи.

8 Визначають надперехідний і ударний струми КЗ від двигунів. При розрахунках ударного струму від АД враховується зміна періодичної складової струму КЗ з часом та віддаленість двигунів від точки КЗ.

9 По результатах розрахунків робляться висновки.

При виконання завдань слід дотримуватися найбільш доцільного порядку розв'язку, приводити необхідні пояснення. Формули потрібно записувати у загальному вигляді з подальшою підстановкою числових значень, вказувати розмірності отриманих величин. Схеми повинні виконуватися у відповідності зі стандартами.

Контрольні роботи виконуються в окремому зошиті, де потрібно вказати вихідні дані. Параметри елементів наносяться на розрахункову схему електричної мережі. У роботі приводиться список використаної літератури.

5 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

5.1 Основна література

1. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Півняка ; Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с.

2. ГОСТ 28249 – 93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. Госстандарт Украины, К., 1995.

3. Правила улаштування електроустановок. Україна Видання офіційне. Міненерговугілля України. — Х.: Форт, 2017. — 760 с.

5.2 Додаткова література

4. Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970. – 520 с.

5. Черемісін М. М. Перехідні процеси в системах електропостачання / Черемісін М. М. –Харків: Факт, 2005. –176 с.